NOTICE SUPPLÉMENTAIRE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. H. LE CHATELIER.

Je résumerai ici les travaux scientifiques que j'ai effectués depuis l'impression de ma précédente Notice qui remonte au milieu de l'année 1891.

Dissociation du bioxyde de baryum.

On savait depuis longtemps, par les recherches de Boussingault, que la décomposition du bioxyde de baryum était une opération réversible, c'est-à-dire qu'elle rentrait dans la catégorie des phénomènes de dissociation découverts par H. Sainte-Claire Deville, mais on ne possédait à ce sujet aucune donnée numérique. J'ai déterminé d'une façon complète la courbe des tensions de dissociation de ce composé. Elle se superpose presque exactement à celle du CaO, Co^2 que j'avais étudié antérieurement. La tension de 1^{atm} correspond à la température de 800°.

Au cours des mêmes expériences, j'ai donné l'explication d'une série de particularités qui ont, pendant longtemps, fait échouer toutes les tentatives de fabrication industrielle de l'oxygène au moyen du bioxyde de baryum.

La baryte absolument anhydre est incapable d'absorber l'oxygène; c'est à cette propriété qu'elle doit, après un certain nombre d'opéra-

tions, de devenir inerte quand on emploie pour la régénération du bioxyde de baryum de l'air trop parfaitement desséché, comme le faisait Boussingault. Par contre, l'air trop humide donne de l'hydrate de baryte qui forme avec le bioxyde un mélange extrêmement fusible. Le mélange $2(BaOHO + BaO^2)$ fond à 450°, température bien inférieure à celle de dissociation normale du bioxyde. La formation de semblables mélanges fusibles met également hors d'usage la baryte employée à la fabrication de l'oxygène. Cette opération ne peut marcher d'une façon continue qu'en employant pour régénérer le bioxyde de l'air à un degré hygrométrique déterminé. Enfin, vers 800°, c'est-à-dire au voisinage de la température correspondant à la tension de dissociation de 1 atmosphère, le bioxyde de baryum attaque instantanément le fer des cornues en donnant un ferrite de baryte fusible. C'est là, indépendamment de la question de prix de revient, ce qui oblige, dans la fabrication industrielle de l'oxygène, à procéder par variation de pression et non par variation de température.

Dissociation du plombate de chaux.

On a proposé récemment en Angleterre de substituer pour la fabrication de l'oxygène le plombate de chaux $PbO^2, 2CaO$ au bioxyde de baryum. J'ai déterminé, comme pour le bioxyde de baryum, la courbe des tensions de dissociation de ce composé; ces deux courbes ont même forme, mais celle du plombate de chaux correspond pour les mêmes tensions à des températures plus élevées d'environ 200°. La tension de 1^{atm} correspond à la température de 1085°. Comme on pouvait le prévoir en raison de la fusibilité de l'oxyde de plomb, la réabsorption de l'oxygène est beaucoup plus rapide que dans le cas du bioxyde de baryum.

Fusion du carbonate de chaux.

L'expérience classique de Hall sur la fusion du carbonate de chaux sous pression avait été, à maintes reprises, contestée. Le savant anglais

avait, en effet, opéré sur des variétés impures de carbonate de chaux naturel, et les tentatives faites pour répéter cette expérience avec du carbonate de chaux précipité pur avaient toutes échoué. J'ai réussi le premier à fondre du carbonate de chaux chimiquement pur et j'ai obtenu une masse saccharoïde présentant tous les caractères du marbre blanc. Des plaques minces taillées dans la masse laissaient voir des cristaux cent fois plus gros environ que les grains du précipité chimique mis en expérience. J'ai reconnu en même temps que le point de fusion du carbonate de chaux était voisin de celui de l'or, et que la masse fondue était seulement pâteuse, ce que Hall avait, du reste, également annoncé. Il comparait le carbonate de chaux fondu à de la cire fondue [1].

Chaleur de transformation de l'arragonite en calcite.

On admettait, depuis les expériences de Favre, que la transformation de l'arragonite en calcite était accompagnée d'un dégagement de chaleur relativement considérable, soit 2^{Cal} par équivalent ($CaO.CO^2 = 50^{\mathrm{gr}}$). Ce résultat m'a semblé difficilement conciliable avec les expériences de Rose, d'après lesquelles la production artificielle de l'arragonite aurait lieu à une température plus élevée que celle de la calcite. J'avais, en effet, au cours de mes études sur les équilibres chimiques, établi comme une conséquence rigoureuse des principes de la Thermodynamique que la formation de l'état d'un corps correspondant au plus grand dégagement de chaleur devait se produire vers les basses températures. En reprenant par des méthodes plus précises la chaleur de transformation des deux variétés du carbonate de chaux, j'ai reconnu qu'elle était de sens inverse à celle donnée par Favre, et environ dix fois moins importante. La contradiction apparente signalée au début n'existe donc pas.

---

[1] Au cours de cette étude, j'ai donné la valeur inexacte de 800° pour le point de fusion du carbonate de baryte; cette température correspond à une transformation dimorphique qui est accompagnée d'une absorption de chaleur comme l'aurait été la fusion; telle a été la cause de ma méprise.

Constitution des calcaires marneux.

A la suite de mes études antérieures sur les argiles, j'avais été amené à reconnaître que les calcaires marneux ne sont pas, comme on l'admettait jusqu'ici, constitués par des mélanges de carbonate de chaux et d'argile véritable, c'est-à-dire du silicate défini $2SiO^2, Al^2O^3, 2HO$. Les matières siliceuses que renferment ces calcaires diffèrent complètement de l'argile véritable par leur composition, leurs propriétés physiques et chimiques, ainsi que par leurs caractères cristallographiques quand elles ne sont pas amorphes. Elles sont toujours plus riches en silice, renferment parfois de la chaux ou des alcalis, en tous cas ont généralement une composition assez complexe, comme celle de beaucoup de silicates naturels, et qui varie d'un calcaire à un autre. Un des échantillons les mieux cristallisés que j'aie rencontrés, provenant du calcaire à chaux hydraulique employé à Brazzaville (Congo), présentait une composition correspondant à la formule très simple

$$2Si^2O^2, MgO, 0{,}5HO.$$

Analyse du grisou.

Le dosage des petites quantités de grisou contenu dans l'air des mines présente, au point de vue de la sécurité des ouvriers, une importance capitale depuis longtemps reconnue. Mais, jusqu'ici, on n'avait pu faire, d'une façon continue, de semblables analyses, faute de procédés présentant à la fois une précision et une simplicité suffisantes. Il faut, en effet, pour que de semblables analyses aient une utilité réelle, qu'elles permettent de répondre de la teneur en grisou, à $\frac{1}{1000}$ près, du volume total de l'air, et qu'elles puissent être effectuées par des personnes étrangères aux manipulations chimiques.

J'ai résolu ce problème par deux méthodes différentes. L'une, dont l'idée appartient à un ingénieur américain, M. Shaw, utilise les limites d'inflammabilité; l'autre, dont l'idée appartient à M. Coquillion, utilise la combustion du gaz au contact d'une spirale métallique incandescente. Ces deux inventeurs arrivaient à peine à obtenir la précision de

o,5 pour 100 au moyen d'appareils très compliqués. Je suis arrivé, en étudiant méthodiquement les phénomènes mis en jeu, à quintupler ce degré de précision, tout en employant des dispositifs expérimentaux beaucoup plus simples.

Mes appareils sont aujourd'hui en fonctionnement dans un certain nombre de mines françaises, où ils donnent des résultats satisfaisants.

Recherches sur les ciments.

Membre d'une Commission d'unification des méthodes d'essais nommée par le gouvernement, j'ai été amené à étudier une série de procédés d'essais des ciments ayant pour objet de déterminer :

1° Le poids spécifique des poudres de ciment;

2° Les teneurs en eau et en acide carbonique;

3° La présence de la chaux libre, c'est-à-dire non combinée.

Ces expériences, qui se rattachent plus à la Chimie industrielle qu'à la Chimie scientifique, ont été décrits dans mon Mémoire *Sur les procédés d'essais des chaux et ciments*, inséré aux *Annales des Mines.*

Borates métalliques.

Mes recherches relatives aux borates métalliques, qui ont porté sur leur composition chimique, leur densité, leur chaleur de formation, leur point de fusion et leur état vitreux n'ont pas encore été publiées dans leur entier. J'ai seulement donné dans les *Comptes rendus* une Note relative à leur composition chimique.

Antérieurement à mes recherches, on admettait que l'acide borique pouvait se combiner aux bases dans des proportions pour ainsi dire indéfiniment variables. Certains ouvrages de Chimie n'indiquent pas moins de onze proportions différentes semblables. L'acide borique aurait donc été une exception unique parmi tous les autres acides, puisque celui d'entre eux, l'acide phosphorique, qui présente le plus grand nombre de basicités différentes, n'en possède que trois.

J'ai reconnu que les idées admises au sujet de l'acide borique étaient de tous points inexactes et qu'elles étaient le résultat d'erreurs de trois natures différentes.

En premier lieu, on a souvent considéré comme des composés définis des mélanges grossiers de corps cristallisés avec des verres d'acide borique ou même avec de l'acide borique vitreux. Ainsi, tous les prétendus borates de magnésie inférieurs au borate bibasique sont un mélange mécanique de ce borate avec de l'acide borique immédiatement soluble dans l'eau. Les borates alcalino-terreux anhydres inférieurs au borate monobasique sont constitués par des gouttelettes d'un verre borique enfilées en chapelet sur de longues aiguilles du borate monobasique.

En second lieu, dans les analyses des borates où le dosage de l'acide a été fait par différence, du chlore a été parfois compté comme acide borique et a fait attribuer à un chloroborate une formule inexacte de borate simple.

Enfin, dans les borates hydratés, on avait toujours négligé de séparer l'eau basique de constitution de l'eau de cristallisation, distinction qui s'impose au même titre que dans les phosphates.

J'ai établi, au cours de cette étude, qu'il n'y avait en réalité que quatre proportions différentes dans lesquelles l'acide borique se combine aux bases proprement dites, sans que pour un même métal il ait été possible d'obtenir plus de trois combinaisons différentes. Ces proportions correspondent aux :

1° *Borates monobasiques*, qui comprennent les borates alcalino-terreux et alcalins. Le borax cristallisé est un borate acide monobasique dont la formule doit être écrite en équivalents Bo^2O^6, NaO, HO, Aq. La formule si complexe à laquelle la théorie atomique conduit pour représenter la constitution du borax anhydre n'a aucune raison d'être, parce que ce corps n'existe pas en temps que composé défini.

2° *Borates bibasiques*. — Ce sont les borates de la série magnésienne qui avaient été préparés par Ebelmen et qui ont été décrits par M. Mallard. J'avais tout d'abord attribué à ces composés la formule de borates sesquibasiques, qui correspondait à la composition des mélanges soumis à la fusion par Ebelmen. Je ne m'étais pas aperçu, au début de mes recherches, de la présence d'acide borique libre sur des cristaux dont les dimensions et la beauté semblaient exclure la présence de toute impureté.

3° *Borates tribasiques.* — Ce sont les borates de la première série préparée et décrite par Ebelmen.

Ces trois familles de borates doivent être considérées comme normales; elles correspondent aux aluminates de même formule.

4° *Borate sesquibasique.* — J'ai obtenu avec le zinc seul un borate de cette formule qui n'avait pas été obtenu encore et possède des propriétés curieuses. Il cristallise dans le système cubique en très beaux dodécaèdres rhomboïdaux, mais sa cristallisation est très difficile à obtenir quand on ne peut pas l'amorcer en semant dans la masse fondue quelque germe cristallin de même nature. Il se solidifie très facilement, même par refroidissement lent, en donnant un verre parfaitement homogène et transparent, et le verre est facilement attaquable aux acides faibles, tandis que les cristaux sont inattaquables, même par les acides concentrés.

Les données numériques relatives aux densités, chaleur de formation, et point de fusion de ces composés ne comportent aucune conclusion d'ordre général, c'est principalement en raison de ce peu d'intérêt que j'en ai différé jusqu'ici la publication.

Les verres d'acide borique forment le lien entre les dissolutions liquides et les verres qui sont de véritables dissolutions solides. Les phénomènes de saturation et de désursaturation ou dévitrification dont ils sont le siège, établissent la continuité complète entre les mélanges homogènes tout à fait liquides et tout à fait solides.

Fusibilité des mélanges salins.

Dans mes études antérieures sur les phénomènes de dissolution, j'ai donné une formule générale de la variation de la solubilité en fonction de la température qui suppose connue la relation des tensions de vapeur des dissolutions à leur concentration. Cette relation n'est connue jusqu'ici que pour les solutions très diluées et l'on peut être assuré, au moins pour les solutions aqueuses, que cette relation sous sa forme exacte est nécessairement très complexe et ne saurait être exprimée par une fonction algébrique inférieure au troisième degré. En présence

de cette complication, j'avais renoncé à poursuivre cette étude et m'en étais tenu à la relation approchée primitivement obtenue.

Des recherches récentes de M. Ramsay sur les tensions capillaires ayant établi que l'eau était un liquide d'une constitution tout à fait anormale dans lequel les phénomènes de dissolution devaient revêtir une forme particulièrement compliquée, j'ai pensé qu'en reprenant l'étude des dissolutions non aqueuses, on pourrait peut-être arriver à des lois plus simples. C'est dans ce but que j'ai entrepris une étude sur la solubilité mutuelle des sels métalliques fondus; cette étude est seulement en cours d'exécution et je n'ai encore publié qu'un petit nombre des premiers résultats obtenus. Ces résultats m'ont montré immédiatement que les solutions exclusivement salines sont régies par des lois beaucoup plus simples que les solutions aqueuses.

Voici les principaux résultats obtenus jusqu'ici : 1° les abaissements moléculaires du point de fusion des sels par addition d'autres sels ne présentent pas les anomalies bien connues des solutions aqueuses. Ils pourront sans doute servir à la détermination du poids moléculaire des sels, et indirectement à la détermination des chaleurs latentes de fusion par la formule de van t'Hoff.

2° Les courbes de solubilité salines peuvent être divisées en quatre catégories distinctes :

I. Celles des sels qui ne se combinent ni ne se mêlent isomorphiquement entre eux.

II. Celles des sels qui donnent ensemble des combinaisons définies.

III. Celles des sels qui se mêlent isomorphiquement entre eux.

IV. Celles des sels anormaux.

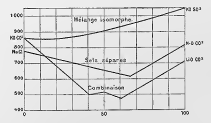
I. Les sels qui ne se combinent ni ne se mêlent ont une courbe de solubilité généralement composée de deux droites qui se coupent à angle vif, à condition de définir la concentration du liquide fondu par le rapport du nombre de molécules de l'un des sels au nombre total de molécules du mélange. Cette conclusion doit provisoirement être restreinte aux sels dont les points de fusion propres ne diffèrent pas l'un de l'autre de plus de 200° ou 300°, les seuls que j'aie étudiés jusqu'ici. Sur une des branches de la courbe, c'est l'un des sels qui se dépose, et sur l'autre c'est le second. La courbe d'un sel donné est

dans bien des cas, à très peu de chose près, indépendante de la nature du second auquel il est mêlé, de sorte que l'on pourrait construire *a priori* la courbe de solubilité d'un mélange de deux sels, quand on connaît déjà les courbes de solubilité de deux autres mélanges dans chacun desquels un de ces sels figure.

Ce sont là des phénomènes tout différents de ce qui se passe dans les solutions aqueuses pour lesquelles les courbes de solubilité n'ont jamais, quoi qu'on en ait dit, la forme de droites.

II. Les sels qui donnent des combinaisons définies, tels que les sulfates doubles de cuivre et des métaux, alcalins les carbonates doubles de lithium, baryum, calcium, etc., et des métaux alcalins, m'ont donné jusqu'ici des courbes composées de quatre droites se coupant à angle vif, de sorte que, pour certaines températures, les mélanges salins présentent quatre coefficients de solubilité distincts, deux correspondant à la cristallisation de l'un ou l'autre des sels simples, deux autres à la cristallisation du sel double. C'est là un phénomène analogue à celui qui a été découvert par M. Roozeboom dans les solutions aqueuses de chlorure de calcium. Tout à fait exceptionnel pour les solutions aqueuses, il semble, au contraire, normal pour les mélanges salins.

III. Les courbes de solubilité des mélanges salins isomorphes sont constituées par une coúrbe unique sans aucun point anguleux, qui



paraît se rapprocher de plus en plus de la droite qui joint les points de fusion de chaque sel isolé, au fur et à mesure que l'isomorphisme

est plus parfait, c'est-à-dire que la chaleur dégagée dans la formation du mélange isomorphe est moindre.

La figure ci-dessus donne des exemples de ces trois formes de courbes de solubilité.

IV. Certains sels s'écartent absolument de la généralité des autres sels : tel le sulfate de soude; on peut en conclure qu'ils ont, comme l'eau, une constitution moléculaire anormale. J'ai laissé provisoirement de côté leur étude; je citerai seulement ce fait que l'addition croissante de petites quantités de sulfate de chaux au sulfate de soude élève progressivement jusqu'à un maximum le point de fusion de ce dernier sel; c'est là une exception presque unique à la loi générale d'abaissement des points de solidification par l'addition de matières étrangères.

Théorie du regel.

La théorie classique du regel repose sur la formule bien connue de W. Thomson qui donne la relation entre l'abaissement du point de fusion de la glace et l'élévation de la pression. En réfléchissant au mécanisme de ce phénomène, je me suis aperçu que l'application qu'on lui faisait de la formule de Thomson n'était pas correcte. Cette formule suppose en effet que l'eau et la glace supportent la même pression, tandis que dans les conditions pratiques du regel l'eau n'est pas comprimée, la glace seule l'est. En tenant compte de cette différence, on arrive à une formule qui diffère de celle de Thomson en ce que la différence entre le volume de la glace et celui de l'eau y est remplacé par le volume absolu de la glace. Il en résulte que pour une même variation de pression l'abaissement de la température de fusion est dix fois plus grand que dans le cas d'une pression uniforme. Une autre conséquence plus importante est que la réalisation du regel n'est pas seulement possible avec les corps qui augmentent de volume en se solidifiant; il y a dans tous les cas abaissement du point de fusion par l'élévation de pression quand le liquide peut s'écouler et échapper à la pression.

La même formule s'applique encore aux sels solubles comprimés au contact d'un dissolvant liquide qui, lui, n'est pas comprimé. Il se

produit alors un accroissement du coefficient de solubilité; le liquide se sursature au contact des fragments de sels comprimés et va déposer dans les intervalles libres le sel transitoirement dissous. Il en résulte qu'une masse solide pulvérulente, comprimée au contact d'un liquide capable de la dissoudre partiellement, se transformera à la longue en une masse compacte et cohérente. J'ai pu, en une huitaine de jours, réaliser sous des pressions relativement faibles cette agglomération avec des sels très solubles, comme le chlorure de sodium, l'azotate de soude. Il en serait de même au bout d'un temps plus long pour des sels moins solubles comme le sulfate ou le carbonate de chaux. C'est vraisemblablement par ce procédé que s'est effectué le durcissement des couches géologiques de l'écorce terrestre qui, au moment de leur dépôt, étaient certainement meubles.

Mesure optique des températures élevées.

Mes procédés de mesure des températures par les couples thermo-électriques se sont rapidement répandus dans les laboratoires et les usines; mais leur emploi, surtout dans les usines à fer, où la circulation des matières est continuelle, était fort difficile en raison de la nécessité d'avoir un fil conducteur entre le couple et le galvanomètre. Sollicité par M. Hadfield, le savant directeur des usines Hekla à Sheffield, d'étudier un pyromètre d'un emploi plus facile dans les usines à fer, je me suis rapidement convaincu que la méthode optique, dont le principe avait été indiqué par Ed. Becquerel, pouvait seule conduire au résultat désiré. Je suis arrivé à la solution complète du problème par une simple adaptation du photomètre de M. Cornu. Je n'insisterai pas sur les modifications sans importance que j'ai fait subir à cet appareil; je rappellerai seulement les résultats qu'il m'a permis d'obtenir.

I. *Détermination de la loi du rayonnement.* — Dans une série d'expériences préliminaires, j'ai dû, pour la graduation de cet appareil, déterminer la loi du rayonnement en fonction de la température. J'ai trouvé pour les radiations monochromatiques transmises par un verre

rouge et émises par un corps noir que de 600° à 1775° cette loi pouvait être représentée par la formule

$$I = Ke^{-\frac{3760}{T}},$$

formule d'après laquelle l'intensité du rayonnement croîtrait indéfiniment avec la température, ce qui semble assez vraisemblable *a priori*. On m'a opposé des expériences antérieures qui conduiraient à un maximum de rayonnement pour une certaine température. Une semblable loi est d'autant moins admissible que le maximum indiqué est inférieur au rayonnement solaire.

Au cours de ces expériences, j'ai pu vérifier l'influence de la température de l'enceinte sur l'intensité du rayonnement, influence annoncée depuis longtemps par Kirchhoff, mais dont l'importance a été trop souvent méconnue. J'ai mis à profit cette influence pour faire des mesures de pouvoir émissif aux températures élevées.

II. *Températures des foyers industriels.* — J'ai pu, par cette méthode, faire des déterminations de la température des divers foyers industriels, question sur laquelle les opinions les plus erronées avaient cours. C'est ainsi qu'il a fallu abaisser la température du four à porcelaine de 1800° à 1375°, de la cornue Bessemer de 2000° à 1600°.

La température la plus élevée que j'aie rencontrée dans les foyers industriels est celle du coke brûlant devant l'œil de la tuyère dans les hauts fourneaux. Cette température est égale à 1950°.

III. *Température de l'arc électrique.* — J'ai trouvé pour le point le plus chaud des charbons dans l'arc la température de 4100°, voisine de celle que Rosetti avait obtenue antérieurement par la mesure du rayonnement calorifique.

Pour le filament de la lampe à incandescence, j'ai trouvé 1800°. Enfin j'ai déterminé la loi de variation de la résistance électrique de ces filaments avec la température. J'ai reconnu que la température maxima à laquelle on peut chauffer une baguette de charbon par incandescence est la même que celle des parties les plus chaudes des charbons entre lesquelles jaillit l'arc.

Des expériences en cours d'exécution me semblent démontrer que cette température maxima des charbons n'est pas, comme on l'admet souvent, celle d'ébullition du carbone sous la pression atmosphérique, mais plutôt celle d'un point de transformation ou peut-être de fusion. La tension de vapeur du carbone n'y dépasse certainement pas quelques centimètres de mercure.

IV. *Température du soleil.* — La même méthode, par une extrapolation un peu hardie, je dois le reconnaître, m'a conduit à attribuer au soleil une température voisine de 7000°, bien supérieure à la température admise depuis les dernières recherches faites sur ce sujet. La loi du rayonnement qui m'a servi, ayant été établie au moyen d'expériences embrassant un intervalle de 1200°, offre plus de garanties d'exactitude que les lois employées auparavant, qui reposaient sur des expériences embrassant au plus un intervalle de 200°.

Recherches thermodynamiques.

Je me suis livré à quelques études sur les principes fondamentaux de la Thermodynamique, mais, en raison du reproche qui m'a été adressé de m'occuper de questions théoriques étrangères à la science expérimentale, je n'en dirai rien ici.

LISTE DES MÉMOIRES.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences.

1891.

T. CXIII, p. 370. — Sur des essais de reproduction des roches acides.
Id., p. 1034. — Sur les borates métalliques.

1892.

T. CXIV, p. 62. — Sur la théorie du regel.
Id., p. 214. — Sur la mesure optique des températures élevées.
Id., p. 470. — Sur les températures développées dans les foyers industriels.
Id., p. 737. — Sur la température du soleil.

T. CXV, p. 124. — Sur quelques médicaments ferrugineux.
Id., p. 167. — Sur le principe du travail maximum.
Id., p. 654. — Sur la dissociation du bioxyde de baryum.
Id., p. 817 et 1009. — Sur la fusion du carbonate de chaux.

1893.

T. CXVI, p. 390. — Sur la chaleur de formation de l'arragonite.
Id., p. 1051. — Remarques sur la chaleur spécifique du carbone.
Id., p. 1504. — Sur le troisième principe de l'Energétique.

T. CXVII, p. 109. — Sur la dissociation du plombate de chaux.

1894.

T. CXVIII, p. 262. — Sur la constitution des calcaires marneux.
Id., p. 350. — Sur la fusibilité des mélanges salins isomorphes.
Id., p. 415. — Sur quelques carbonates doubles alcalins, alcalino-terreux.

PUBLICATIONS DIVERSES.

Revue générale des Sciences, janvier 1894. — La constitution chimique des produits hydrauliques.

Annales de Chimie et de Physique, juillet 1893. — Sur le dosage de petites quantités de gaz combustible, mêlées à l'air.

Encyclopédie Léauté. — Le grisou.

Industrie électrique, avril 1892. — Pyromètre optique.

Bulletin de la Société d'Encouragement. — Sur les températures développées dans les foyers industriels.

Annales des Mines, mars-avril 1891. — Sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité.

Id., octobre 1892. — Sur le dosage du grisou par combustion.

Id., octobre 1893. — Procédés d'essai des matériaux hydrauliques.

Journal de Physique, 1891. — Différents états moléculaires des métaux d'après leur conductibilité électrique.

Id., 1892. — Mesure optique des températures élevées.

20713 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55.